遺伝的アルゴリズムの空間構造形態解析への応用

AN APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS TO FORM FINDING
ANALYSIS OF SPATIAL STRUCTURES

三井 和男*, 登坂 宣好**

Kazuo MITSUI and Nobuyoshi TOSAKA

Applicability of genetic algorithms (GAs) to the form optimization problem of structures is discussed in this paper. The form optimization problems on truss structures under the prescribed displacement mode are solved by using GAs. These problems have strong nonlinearity, and the layout of the members is deeply concerned with the existence condition of solutions. In the present study, the form finding method in which not only the positions of the objective nodes but also the layout of the members are encoded to strings in the GAs as the design parameters of the structure is proposed, and the effectiveness of the method is examined. Moreover, the form finding method is extended to the minimal surface problem, in which several control points of a spline function are introduced in order to describe the shape of the membrane surface.

Keywords: Genetic algorithms, Form finding, Truss, Membrane, Minimal surface, Optimization

遺伝的アルゴリズム, 形態解析, トラス, 膜, 極小曲面, 最適化

1. 序

構造システムは、トラスやフレーム等の離散型と梁、板、膜、シェル等の連続型に分類することができる^[1]。ここで取り扱う問題は、離散型の構造システムであるトラス構造物のホモロガス変形を指定した構造設計問題と、連続型の構造システムである膜構造の原形曲面の形状決定問題である。

ホモロガス構造の形態解析は、半谷等^[2,3]により一般逆行列を用いた研究が進められている。この問題における形態解析は主に位相決定問題と位置決定問題から構成される。位相の決定は目標とする解の存在条件と深い関連があり、また位置の決定の前提となるため非常に重要な問題である。また、位置の決定に対し問題が強い非線形性を有しているため Newton-Raphson 法等が用いられる場合が多いが、初期値への依存性が非常に強い場合や、設計パラメータの増加に伴って解空間の多峰性が顕著な場合があり、解析を困難なものにしている。

本論では、この困難を解決するため位相に関する情報と位置に関する情報の両方を遺伝子としてコーディングし、多峰性のある問題や最適配置問題に有効であるとされる遺伝的アルゴリズム^[4] (Genetic Algorithms: GA) を導入して、位相と位置さらに部材断面の決定を同時に行なう解析法を提案し、その有効性を検討する。このような非線形問題では一般に複数の解が存在し、それらの解の中から一つを選択するためには何らかの条件を追加しなければならない。本論ではさらに、多目的 GA^[5] の手法を導入することによってこのような問題に対する GA の拡張性を検討する。

一方、連続型の構造システムの問題で興味深いのはシェルや膜の形状決定問題である。Ramm^[6] は応力レベル関数と歪エネルギー関数を目的関数として採用したシェルの形状最適化を提案し、幾つかの例題で数値計算を行って最適形状を示している。また、大森等^[7] は系の重力ポテンシャルエネルギーを極小化することにより吊り下げ曲面の形状を求めている。このように

* 日本大学生産工学部数理工学科 助教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Mathematical Engineering, College of Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

** 日本大学生産工学部数理工学科 教授・工博

Prof., Dept. of Mathematical Engineering, College of Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

シェルや膜の形状決定問題はそれらの形状に対応する何らかの汎関数を最小化する問題として定式化できる。本論ではこれらの問題への遺伝的アルゴリズムの適用の可能性を示すために極小曲面問題を取り上げる。極小曲面は膜構造の原形曲面として採用される等張力曲面と幾何学的に同一である。この問題も非線形性が強くさまざまな数値解析手法^[8,9,10]が提案されている。また、対話型可視化システム^[11,12]の導入によって形態生成を支援する試みもなされている。幾つかの制御点とスプライン関数によって膜面を表現し、この制御点の位置を遺伝子にコーディングすることによって面積が極小となる膜面形状を決定する問題にGAを適用する。

2. 遺伝的アルゴリズム

GAは、生物進化のメカニズムと考えられる選択淘汰と突然変異の原理に着想を得たアルゴリズムであり、Holland^[13]によって導入された確率的探索最適化の一手法である。GAでは、Fig.1に示すようにまずはじめに初期化を行う。これは一様乱数を発生させることによりランダムに初期集団を発生させる操作である。このとき、集団を構成する各個体は設計パラメータを2進数で記述した遺伝子(string)によって表現される。このような集団は、通常一定の個体数(population)で構成され、世代(generation)と呼ばれる。次に各世代において繁殖(reproduction)、交叉(crossover)、突然変異(mutation)という過程をある一定の終了条件を満たすまで繰り返す。

Fig.1 単純GA

交叉は、二つの個体の遺伝子を組み換えることにより次世代の遺伝子を作る操作であり、単なるランダム探索とは異なるGAにおいて最も特徴的な過程である。子となる遺伝子に両親の遺伝子の優れた部分を組み合わせることができれば解の探索における飛躍をもたらすからである。ここで集団の中の全ての個体が交叉するのではなく、特定の割合で交叉が行われる。この割合は交叉率と呼ばれる。

突然変異は遺伝子を一定の確率で変化させる操作である。突然変異はある世代における集団全体が局所解に陥ってしまったとき、この局所解から抜け出す可能性が期待できる。突然変異が発生する確率は突然変異率と呼ばれ、極く低い確率が与えられるのが普通である。

繁殖では淘汰(selection)が行なわれ、適応度の高い遺伝子はその適応度に比例して次世代に自分と同じ遺伝子を残す確率が高くなり、逆に適応度の低い遺伝子は死滅する確率が高くなる。これによって解が収束する性質を持つ。各個体の適応度は、それぞれの個体の遺伝子をいくつかの設計パラメータに解釈してから、これらの評価関数値を計算し、この評価関数値から適応度を計算する。

3. ホモログス構造の形態解析

Fig.2に示すトラス構造を考える。部材の断面積および弾性定数は一定であるとする。また、水平および垂直部材は存在が決定しているものとし、斜材は形態解析によってその配置が決定される部材であってその存在は未定である。上弦節点1,2,3に均一な鉛直方向荷重が作用するとき、ホモログス変形は節点1,2,3の鉛直方向変位が同一となることを意味するが、適当に選んだ形態は一般にこれを満足しない。ここでは前述の4本の斜材の配置と節点4の鉛直座標値 y_4 を設計パラメータとして選択し、ホモログス変形を満足する形態を解析する。

Fig.2 解析モデル

この問題は強い非線形性を有する問題であり、そのため何らかの形でNewton-Raphson法のような非線形方程式の数値解析手法が用いられることが多い。しかし、これらの方法は初期値への依存性が非常に強い場合があり、期待した形態が得られない場合がある。この問題では、例えば後に示す目的関数 f を設計パラメータ y_4 の関数であると考えて所謂感度 $\partial f / \partial y_4$ を計算しなければならない。これはFig.3に示すように設計パラメータ y_4 の増加および減少にともなって0に漸近する傾向があり、初期値によっては解が求められない場合や、収束計算の過程で感度0の領域に陥り解析できない場合がある。感度 $\partial f / \partial y_4$ を求める必要のないGAの有効性が期待される点である。

Figs.4,5はそれぞれFig.6に示すAおよびDの部材配置に対する設計パラメータ y_4 と節点1,2の鉛直方向変位の関係を示したものである。Fig.4では二つの曲線の交差するaとbの位置にホモログス変形を満足する解が存在する。しかし、Fig.5ではホモログス変形を満足する解は存在せず、部材の配置、すなわち位

Fig. 9 ホモロガス構造 (2)

Fig. 10 ホモロガス構造 (3)

モロガス構造 (3) の三つの形態が得られた。何れの解に収束するかは、ランダムに選択された初期集団に依存する。しかし、何れかの解に収束するような制約条件、例えば部材数の制限などを考慮すれば解の選択は可能である。尚、個体数は 20、交叉率は 0.4、突然変異率 0.005 とした。また、20 回の試行中、各々の形態が得られた回数は、Fig. 8 が 8 回、Fig. 9 が 7 回、Fig. 10 が 5 回である。著者等は、GA のパフォーマンスに大きな影響をあたえると言われる突然変異率や交叉率、個体数等のパラメータの設定に留意し、個体数 10~100、交叉率 0.4~0.8、突然変異率 0.002~0.05 の範囲で試行を繰り返したが、この問題ではこれらのパラメータによるパフォーマンスへの大きな影響は認められず、本論では上に示した値を基準として採用した。

3.4 ロバスト性を考慮したトラス構造

このようにして得られた構造形態は設計条件として一定のヤング率や既知の外荷重を与えて得られた最適形状である。設計条件のうち例えば外荷重が変動した場合、その応答が解析時に期待した応答と著しく異なることは望ましいことではない。これらの変動に対してあまり影響を受けない性質すなわち所謂ロバスト性の検討は最適化において重要な問題であり、前述のようなホモロガス条件を満足する複数の解から一つを選び出す一つの基準を与える。本論では外荷重の変動とその応答の変動を統計量として扱うことによりロバスト性を考慮した解析を行い、このような問題に対する遺伝的アルゴリズムの拡張性を考える。

節点 1, 2, 3 に作用する鉛直荷重が不確定であると考えるとこれを確率変数 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ で表現する。これにより生ずる変位も不確定となる。 v_i^0 ($i=1, 2, 3$) を既知の荷重によって節点 i に生じる鉛直方向変位成分、 v_k^j ($j, k=1, 2, 3$) を節点 j に作用する単位荷重によって節点 k に生じる鉛直方向変位の変動成分であるとす

ると、生ずる変位は次式で表わすことができる。

$$\begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} v_1^0 \\ v_2^0 \\ v_3^0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} v_1^1 \\ v_2^1 \\ v_3^1 \end{Bmatrix} \alpha_1 + \begin{Bmatrix} v_1^2 \\ v_2^2 \\ v_3^2 \end{Bmatrix} \alpha_2 + \begin{Bmatrix} v_1^3 \\ v_2^3 \\ v_3^3 \end{Bmatrix} \alpha_3 \quad (4)$$

したがって、目的関数 f は次のように書くことができる。

$$f = c_0 + c_1 \alpha_1 + c_2 \alpha_2 + c_3 \alpha_3 + c_4 \alpha_1^2 + c_5 \alpha_2^2 + c_6 \alpha_3^2 + c_7 \alpha_1 \alpha_2 + c_8 \alpha_1 \alpha_3 + c_9 \alpha_2 \alpha_3 \quad (5)$$

ここに

$$\begin{aligned} c_0 &= (v_1^0 - v_2^0)^2 + (v_2^0 - v_3^0)^2 + (v_3^0 - v_1^0)^2 \\ c_1 &= 2(v_1^0 - v_2^0)(v_1^1 - v_2^1) + 2(v_2^0 - v_3^0)(v_2^1 - v_3^1) \\ &\quad + 2(v_3^0 - v_1^0)(v_3^1 - v_1^1) \\ c_2 &= 2(v_1^0 - v_2^0)(v_1^2 - v_2^2) + 2(v_2^0 - v_3^0)(v_2^2 - v_3^2) \\ &\quad + 2(v_3^0 - v_1^0)(v_3^2 - v_1^2) \\ c_3 &= 2(v_1^0 - v_2^0)(v_1^3 - v_2^3) + 2(v_2^0 - v_3^0)(v_2^3 - v_3^3) \\ &\quad + 2(v_3^0 - v_1^0)(v_3^3 - v_1^3) \\ c_4 &= (v_1^1 - v_2^1)^2 + (v_2^1 - v_3^1)^2 + (v_3^1 - v_1^1)^2 \\ c_5 &= (v_1^2 - v_2^2)^2 + (v_2^2 - v_3^2)^2 + (v_3^2 - v_1^2)^2 \\ c_6 &= (v_1^3 - v_2^3)^2 + (v_2^3 - v_3^3)^2 + (v_3^3 - v_1^3)^2 \\ c_7 &= 2(v_1^1 - v_2^1)(v_1^2 - v_2^2) + 2(v_2^1 - v_3^1)(v_2^2 - v_3^2) \\ &\quad + 2(v_3^1 - v_1^1)(v_3^2 - v_1^2) \\ c_8 &= 2(v_1^1 - v_2^1)(v_1^3 - v_2^3) + 2(v_2^1 - v_3^1)(v_2^3 - v_3^3) \\ &\quad + 2(v_3^1 - v_1^1)(v_3^3 - v_1^3) \\ c_9 &= 2(v_1^2 - v_2^2)(v_1^3 - v_2^3) + 2(v_2^2 - v_3^2)(v_2^3 - v_3^3) \\ &\quad + 2(v_3^2 - v_1^2)(v_3^3 - v_1^3) \end{aligned} \quad (6)$$

確率変数 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ は独立で期待値は 0、相関はなく、標準偏差 σ の正規分布に従うと考えると目的関数 f の期待値 $E[f]$ は

$$E[f] = c_0 + (c_4 + c_5 + c_6) \sigma^2 \quad (7)$$

また、目的関数 f の分散 $\text{Var}[f]$ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \text{Var}[f] &= E[(f - E[f])^2] \\ &= E[f^2] - (E[f])^2 \\ &= (c_1^2 + c_2^2 + c_3^2) \sigma^2 \\ &\quad + (2c_4^2 + 2c_5^2 + 2c_6^2 + c_7^2 + c_8^2 + c_9^2) \sigma^4 \end{aligned} \quad (8)$$

本論では $g = \text{Var}[f]$ をロバスト性の指標とし、 v_i^0 によって計算される目的関数 $f=0$ (したがって $c_0=0$) で、かつ $\text{Var}[f]$ を最小とする構造形態を求めることを考える。前述のホモロガス構造 (1)(2)(3) の分散 $\text{Var}[f]$ は各々 0.36×10^{-2} , 0.36×10^{-2} , 0.23×10^{-2} であり、これ

をロバスト性の指標とすれば分散の最も小さい構造 (3) (Fig. 10) がロバスト性の高いホモガス構造であるといえる。このような問題に GA を適用する場合、次のような目的関数のスカラー化を行い、

$$h = f + \lambda g \quad (9)$$

関数 h を最小化する問題に置き換える場合が多い。しかし、得られる解の精度は、任意の定数 λ に依存し、満足する解が得られない場合がある。本論では、スカラー化関数 h を最小化するのではなく、繁殖において 1 世代中の個体数の半分を目的関数 f によって選択し、残りの半分を目的関数 g によって選択する一種の多目的 GA^[5] の手法を導入する。こうして選択された集団は交叉によって前述の二つの条件を満足する方向に解空間を探索することが期待できる。一般に多目的最適化では二つ以上の目的関数間にトレードオフの関係が存在し、集合による探索という特徴をもつ GA では、このトレードオフの関係をうまくバランスさせることが可能である。本論では適応度を次の二つの式によって計算した。ただし、荷重 P は部材断面積 A とヤング率 E で無次元化し $P/EA=1$ とした。また、標準偏差を $\sigma=0.1$ とした。

$$\text{fitness}(f) = 1/(1 + f), \quad \text{fitness}(g) = 1/g \quad (10)$$

3.5 ロバスト性を考慮した解析結果

Fig. 2 に示した解析モデルに対してロバスト性を考慮し、多目的 GA の手法を導入してホモガス構造を解析した結果、Fig. 10 に示したホモガス構造 (3) を

Fig. 11 変位モードの変化

Fig. 12 分散 $\text{Var}[f]$ の変化

Fig. 13 適応度 $\text{fitness}(f)$ の変化

Fig. 14 適応度 $\text{fitness}(g)$ の変化

得た。Figs. 11, 12 は、それぞれ形態形成過程における変位モードおよび分散 $\text{Var}[f]$ の変化を示している。また、Figs. 13, 14 は、それぞれ $\text{fitness}(f)$, $\text{fitness}(g)$ の最大値 (実線) と平均値 (破線) の変化を示している。

3.6 位置と位相と部材断面の最適設計

Fig. 15 に示すトラス構造を考える。荷重は上弦節点に鉛直方向に均一に作用するものとし、各部材の弾性定数は一定とする。また、各部材の断面積 a_i は基準となる断面積を a として $a/4$, $a/2$, $3a/4$, a , $5a/4$, $3a/2$, $7a/4$ の何れかとする。これらの上弦節点の鉛直方向変位が同一となるような下弦節点の位置と部材の配置および部材断面積を GA を用いて解析した。節点位置は各 8 ビット、部材断面積は各 3 ビットで計 49 ビットの遺伝子とした。目的関数 f は対称性を考慮して式 (1) で示される関数とした。

Fig. 15 解析モデル

ただし、荷重 P は基準となる部材断面積 a とヤング率 E で無次元化し $P/Ea=1$ とした。また、GA のパラメータは個体数 50、交叉率 0.4、突然変異率 0.005 とした。

Fig. 16 ホモロガス構造 (4)

Fig. 17 ホモロガス構造 (5)

Fig. 18 ホモロガス構造 (6)

Fig. 16 は、式 (1) の目的関数 f のみを考慮したホモロガス条件を満足する形態である。Fig. 17 は式 (9) で $\lambda = 500$ とし、目的関数 f と g をスカラー化した場合の形態である。Fig. 18 は多目的 GA の手法を導入した場合の形態である。何れも部材断面は 1 から 7 の数字 (1:a/4, 2:a/2, 3:3a/4, 4:a, 5:5a/4, 6:3a/2, 7:7a/4) により示した。Figs. 19, 20, 21 は形成過程における変位モードの変化を示したものであり、それぞれ Figs. 16, 17, 18 に対応する。式 (9) の λ の設定は難しく、この値によっては満足な精度の解を得ることができない場合があり、例えば $\lambda = 500$ では Fig. 20 に示されるようにスカラー化目的関数による解がホモロガス条件を十分に満足していないことがわかる。Figs. 22, 23 は $\text{Var}[f]$ の変化を示したものである。Fig. 22 は式 (9) による場合であり、300 世代で $\text{Var}[f] = 0.775 \times 10^{-2}$ が得られた。Fig. 23 は多目的 GA の手法を導入した場合であり、300 世代で $\text{Var}[f] = 0.849 \times 10^{-2}$ が得られた。多目的 GA の手法を導入して得られた Fig. 18 に示される形態は、Fig. 16 に示される形態の $\text{Var}[f] = 0.555 \times 10^{-1}$ に比較して十分小さい値であり、ホモロガス条件を満足することも Fig. 21 により明らかである。Fig. 2 のような簡単なシステムではホモロガス変形を満足す

Fig. 19 変位モードの変化 (関数 f のみを考慮) Fig. 20 変位モードの変化 (関数 $h=f+\lambda g$, $\lambda=500$)

Fig. 21 変位モードの変化 (多目的 GA)

Fig. 22 分散 $\text{Var}[f]$ の変化 (関数 $h=f+\lambda g$, $\lambda=500$) Fig. 23 分散 $\text{Var}[f]$ の変化 (多目的 GA)

る全ての形態を数回の試行で見つけ、それらの形態に対する $\text{Var}[f]$ を計算すれば、ロバスト性の高いホモログス構造を見つけることも可能かも知れない。しかし、複雑なシステムでそれを期待することは難しく、多目的GAの有効性が期待できる点である。

4. 曲面形態生成への応用

連続型の構造システムの形状決定問題への遺伝的アルゴリズムの適用の可能性を示すために最も単純な例題として極小曲面問題を取りあげる。

Figs. 27, 30 に示すような与えられたフレームに張られる極小曲面を求める問題を解析する。**Fig. 24** に示すように幾つかの制御点とスプライン関数^[14]によって曲面を表現し、この制御点の位置を遺伝子としてコーディングすることによってGAを導入する。

3次元空間内に与えられた制御点をパラメトリックスプラインによって補間して曲面を表現する。パラメータとして ϕ および θ を導入し、空間座標 x, y, z はそれぞれ ϕ および θ の関数であるとする。

$$x = x(\phi, \theta), y = y(\phi, \theta), z = z(\phi, \theta) \quad (11)$$

これらの座標は、 ϕ と θ をそれぞれ変数とする B-スプラインの積によって

$$\begin{aligned} x(\phi, \theta) &= \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \alpha_{ij} B_{i,k}(\phi) B_{j,l}(\theta) \\ y(\phi, \theta) &= \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \beta_{ij} B_{i,k}(\phi) B_{j,l}(\theta) \\ z(\phi, \theta) &= \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \gamma_{ij} B_{i,k}(\phi) B_{j,l}(\theta) \end{aligned} \quad (12)$$

と表わすことができる。ここで $B_{i,k}(\phi), B_{j,l}(\theta)$ はそれぞれ $(k-1)$ 次、 $(l-1)$ 次の B-スプラインであり、 $\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \gamma_{ij}$ は、制御点を含む全てのデータ点の座標値を用いて構

Fig. 24 スプライン曲面と制御点

成される連立方程式を解くことによって決定される定数である。また、 M, N は、それぞれ 1 本の ϕ 曲線、 θ 曲線上のデータ点の個数である。

本論では、曲面上に等間隔に選択した 25 のデータ点のうちフレーム上の 16 点(○)を除く 9 個の点(●)を制御点とした。また、 $k=l=4$ として 3 次の B-スプラインを用いた。データ点の x, y 座標は一定とし、 z 座標のみを変化することによって形状を制御する。各制御点の z 座標は、それぞれ 8 ビットの 2 進数で表現し、これを連結した計 72 ビットを遺伝子とした。このようにしてフレームに張られた曲面の面積を s とし、目的関数 s を最小とする曲面を探索する。適応度は、各個体の面積を s_i として次式により計算した。

$$\text{fitness} = f_{\min} + \mu (f_i - f_{\min}) \quad (13)$$

ここで、 μ は任意の定数であり、 f_i は各個体の面積の逆数 $f_i = 1/s_i$ であり、 $f_{\min}$ はそれら各個体の適応度 f_i の中の最小の適応度である。これは、進化の後期において各個体の面積に差が少なくなり、淘汰による効果が薄れることを相対評価を導入して補正するためである。

4.1 極小曲面の解析結果

解析例としてまず **Fig. 27** に太線で示すフレームに張る極小曲面を考える。GA のパラメータは離散型のシステムの解析に用いたのと同様に、個体数は 50、交

Fig. 25 表面積の変化 (フレーム A)

Fig. 26 表面積の変化 (フレーム B)

Fig. 27 フレーム A

Fig. 28 初期世代

Fig. 29 100世代

Fig. 30 フレーム B

Fig. 31 初期世代

Fig. 32 100世代

又は各制御点毎に交叉点を設けた多点交叉とし交叉率は0.4、突然変異率は0.005とした。Fig.28はこのフレームに張られる曲面として初期世代においてランダムに与えられた50の曲面のうち、最も面積の小さい曲面である。初期世代には、この約3倍程度の面積をもった曲面まで様々な曲面が存在する。Fig. 25は形態形成過程における面積の変化を100世代にわたって示したものである。一点鎖線は50個体の平均値、点線は各世代の最大値、また実線は各世代の最小値を示している。遺伝的アルゴリズムにより集団全体が極小曲面となるように進化の過程を繰り返すことがわかる。

Fig. 29は100世代目に得られた曲面形態である。このとき面積は $s=1.34$ となった。Fig. 27のフレームに張られる極小曲面（正解）は、 $z=x/\sqrt{3}+y/\sqrt{3}$ で表わされる面積 $4/3$ の平面である。Fig. 29の曲面形態およびその面積を比較すると、遺伝的アルゴリズムによって精度の良い近似解が得られたことがわかる。

もう一つの解析例として Fig. 30に示されるフレームに張られる極小曲面を考える。Fig. 31はこのフレームに張られる曲面として初期世代における最も面積の小さい曲面である。Fig. 26に示されるような形態形成過程を経た結果、100世代目に Fig. 32に示される曲面形態が得られた。Fig. 33に要素数258、節点数180の有限要素法による近似解^{[11],[12]}との比較を示す。図中には得られた曲面を $y=0.25$ の平面と $y=0.5$ の平面

Fig. 33 有限要素解との比較

で切断したときの切り口の曲線がGAによる実線と有限要素法（FEM）による点線で示されている。有限要素法による解とGAによる解の差は最大で0.8%程度である。尚、有限要素法による解析ではNewton-Raphson法が用いられ、初期値の選択が解の収束に敏感に影響するため、初期値の選定には何らかの工夫が必要である。

5. まとめ

離散型の構造システムであるトラス構造物のホモログ変形を指定した構造設計問題を取りあげ、これに遺伝的アルゴリズムを適用した。ここではまず考慮される位相パターンが4種類で形態変化を受ける節点数が1の単純な場合についてGAを応用する方法につい

て述べ、その特徴と期待できる点のいくつかを示した。また、複数の解の中から一つを選び出すための基準としてロバスト性をとりあげ、多目的GAの手法を導入した。さらに、これらの方法を位相の決定に関連する部材数や、位置を決定しなければならない節点数さらに部材断面積など、設計パラメータが増加した場合に適用してその有効性を示すことができた。また、極小曲面問題をとりあげ連続型の構造システムの形態解析にGAを適用する手掛かりについて述べた。GAは非常に単純なアルゴリズムであるが、さまざまな創意工夫^[17]が可能である。今後の発展と応用が期待できる。

参考文献

- 1) 半谷裕彦: 構造物の形態解析と創生, 生研セミナーテキスト, pp.1-21, 1994
- 2) 半谷裕彦, 関富玲: ホモロガス変形を制約条件とする立体トラス構造の形態解析, 日本建築学会構造系論文報告集, 第405号, pp.97-102, 1989
- 3) 半谷裕彦, 原田和明: 変位モード指定の構造形態解析法, 日本建築学会構造系論文報告集, 第453号, pp.95-100, 1993
- 4) D. E. Goldberg: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley, 1989
- 5) J. Horn, N. Nafpliotis, D. E. Goldberg: A Niche Pareto Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization, Proc. 1st ICEC, 82-87, 1994
- 6) Ramm, E.: Shape finding methods of shells, Bulltin of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), Vol. 33, pp. 89-98, 1992
- 7) 大森博司, 大木洋司, 中増裕介: 吊り下げ曲面の形状解析, 日本建築学会構造系論文集, 第468号, 109-118, 1995
- 8) 大森博司, 萩原伸幸, 松井徹哉, 松岡理: 有限要素法による極小曲面の数値解析, 膜構造研究論文集, pp.1-10, 1988
- 9) 登坂宣好, 福島則博: 一般化された境界要素法による極小曲面問題の近似解法, 境界要素法論文集, 第6巻, pp.49-54, 1989
- 10) 鈴木俊男, 半谷裕彦: 極小曲面の変数低減による有限要素解析, 日本建築学会構造系論文報告集, 第425号, pp.111-120, 1991
- 11) 鳥羽安曇, 三井和男, 登坂宣好: 対話型可視化システムによる空間構造の形状決定, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.93-96, 1994
- 12) 鳥羽安曇, 三井和男, 登坂宣好: 対話型支援可視化システムによる空間構造の形状決定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.2045-2046, 1994
- 13) Holland, J.: Adaptation in Natural and Artificial Systems, Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975
- 14) G. Farin : Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design A Practical Guide, Academic Press, 1990
- 15) 三井和男, 富田啓一, 登坂宣好: 構造形態解析における遺伝的アルゴリズムの応用, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1211-1212, 1994
- 16) 三井和男, 登坂宣好: 遺伝的アルゴリズムによる曲面形態の生成, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.477-478, 1995
- 17) 富田啓一, 登坂宣好: 可変突然変異率を有する遺伝的アルゴリズムによる最適設計問題, 日本機械学会論文集, 61巻585号, pp.228-233, 1995

(1995年7月10日原稿受理, 1996年1月17日採用決定)